

GW-EA 声发射边缘计算网关

边缘智能处理

开放协议，灵活组网



一、产品概述

声发射边缘计算网关（GW-EA）是面向声发射（Acoustic Emission）监测场景的工业边缘计算设备。作为声发射传感网络的核心节点，网关汇聚 RAEM1、RAEM1-6 等采集器数据，在本地边缘端完成声源定位、模式识别与参数等级评定，并将结果通过 MQTT 协议上报至清诚物联网平台（清诚云）或用户私有服务器，实现分布式设备的集中管理与实时监控。

网关支持采集器经以太网或 WiFi 以 TCP 方式接入，上行网络支持以太网/WiFi。其工业级硬件架构适配严苛环境，内置 6 TOPS 算力 NPU，可本地运行 Swin-Transformer 波形识别模型，适用于压力容器、管道、储罐、钢结构等工业场景的声发射在线监测与状态诊断。



二、产品特点及优势

GW-EA 将声源定位、模式识别与参数等级评定全部下沉至网关本地完成，仅将结构化结果上报云端，兼顾实时性、带宽成本与数据安全；单网关最多接入 32 台采集器，上行支持以太网/WiFi 灵活组网；金属外壳被动散热、宽温运行，适配严苛工业现场的长期在线监测。



边缘 AI 算力

6 TOPS NPU · 本地运行 Swin-Transformer, 波形识别无需回传云端



边缘智能处理

声源定位 (GAL / TDOA) · 模式识别 (WPR / PPR) · **事件评级告警**一体化



高精度定位

支持 **7 种定位几何** (线性 / 平面 / 罐底 / 柱面 / 球面等)



多设备接入

单网关最多接入 **32 台采集器**, 兼容 RAEM1 单通道与 6 通道系列



开放协议

MQTT 3.1.1 + Protobuf 标准上报, 对接清诚云、私有云与第三方系统



灵活组网

采集器以太网 / WiFi (TCP) 接入, 上行支持 **4G 可选配**



安全易用

Web 中英文语配置 · 账号鉴权 · 配置导入导出 · 固件升级与远程重启

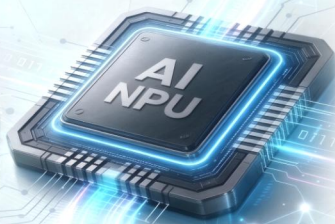


工业级设计

金属外壳被动散热 · 宽温运行 · 抗振动 抗干扰 · 长期在线稳定

6 TOPS AI 独立 NPU 算力,

内嵌 NPU 支持 INT4 / INT8 / INT16 / FP16 / TF32 混合精度运算。



自研声发射波形智能识别模型

基于 Swin Transformer 开源框架 · 海量声发射数据精准训练 · 轻量化工业级

无需复杂算法, 快速识别设备异常信号, 降低运维成本

内置模型 开箱即用

适配边缘设备

多场景覆盖



识别准

将一维波形转化为二维时频图, 同时保留时域、频域联合信息, 精准捕捉信号能量分布特征, 避免单一维度识别的偏差。



速度快

采用窗口注意力机制, 分块计算局部信号特征, 在保证识别精度的同时, 大幅降低算力消耗, 适配各类边缘设备部署。



覆盖广

通过移位窗口机制, 实现相邻窗口信息交互, 捕获跨窗口长程依赖, 精准识别全局异常模式, 支持多场景异常分类 (如开裂、异物碰撞、铅芯断裂、泄漏、摩擦等)。

三. 技术参数

❖ 硬件性能

项目	参数
处理器	四核 Cortex-A72 + 四核 Cortex-A53, 主频 2.2 GHz
内存	2 / 4 / 8 GB LPDDR4X (按选购版本)
存储	32 / 64 GB eMMC (按选购版本)
NPU	6 TOPS @ INT8
以太网	2 × 千兆以太网口
WiFi	2.4G / 5.8G 双频 WiFi
其他接口	2 × USB 3.0、2 × RS485 (隔离)、1 × RS232、1 × CAN (与 RS232 复用)、RTC、GPIO (IN×3 / OUT×3)、继电器 ×2 (与 GPIO 复用)、HDMI、TF 卡槽、SIM 卡槽

❖ 系统能力

项目	参数
采集器接入	TCP (以太网/WiFi), 最多 32 台
采集器类型	RAEM1 (单通道声发射采集器)、RAEM1-6

❖ 功能模块

功能	说明
声源定位	GAL 网格定位、TDOA 时差定位 (7 种几何结构)
模式识别	WPR 波形识别、PPR 参数识别、Swin-Transformer
参数等级评定	本地完成实时强度、活度与综合等级评定, 异常状态分级告警
数据上报	MQTT 3.1.1 + Protobuf 标准协议上报, 对接清诚物联网平台、私有云及第三方系统
本地配置	Web 中英双语配置界面, 账号鉴权, 配置导入导出
远程运维	支持固件远程升级与远程重启

❖ 电源与环境

项目	参数
电源	DC 9~36 V
工作温度	商用级 0~80 °C / 工业级 -40~85 °C
外壳	金属外壳, 被动散热
尺寸	159.7 × 88 × 46.8 mm (长×宽×高)

四. 配置信息表

硬件组成			
型号	以太网	WiFi	4G
GW-EA	√	√	选配
配套软件			
1	GW-EA 网关配置软件: 用于网关网络参数、采集器接入与功能模块的本地配置管理		
2	清诚物联网平台: 集数据显示、数据查询、智能监控与告警推送于一体, 集中接收网关上报的定位与识别结果, 远程管理网关及网关对应采集器		
3	AI 模型训练工具: 运行于声发射 AI 工作站 (GPU), 完成 GAL、WPR、PPR、Swin-Transformer 模型的训练与评估, 训练后的模型部署至网关本地运行		

五. 边缘 AI 计算模块

网关在边缘端完成声源定位、模式识别与参数等级评定等核心计算任务，其中 4 类基于人工神经网络 / 深度学习的模型以推理（inference）方式在边缘端运行：识别/定位模型由声发射 AI 工作站（GPU）上的 AI 模型训练工具训练生成后，部署至网关 NPU / CPU，输入实测数据即可本地实时输出结果，全程无需回传云端计算，云端只需接收网关边缘计算后得到的有价值数据。

❖ 5.1 GAL 网格声源定位

原理：网格标注 + 监督学习。将监测结构划分为若干网格并编号，传感器阵列布置于结构表面；在每个网格批量制造标准声源（如铅芯重复折断），传感器阵列同步采集，形成有监督训练数据集，训练得到网格标注定位模型，学习“到达时间 + 参数 → 网格号”的映射。无需建立结构声速传播模型，不受结构形状与材料声速影响，适用于叶片、罐体、管道等复杂结构；在某 16 网格阵列实测案例中，AI 定位平均准确率达 99.75%，传统 TDOA 时差定位平均约 86%，多数网格定位准确率可达 100%。

		Identification result grid number subscript																Grid No.	Accuracy of TDOA	Accuracy of AI Deep Learning
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
Actual grid number subscript	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	01	100%	100%
	2	0	96	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	02	99%	96%
	3	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	03	50%	100%
	4	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	04	99%	100%
	5	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	05	79%	100%
	6	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	06	89%	100%
	7	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	07	100%	100%
	8	0	0	0	2	0	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	08	90%	98%
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	09	61%	100%
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	10	100%	100%
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	11	99%	100%
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	12	79%	100%
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	13	100%	100%
	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	14	50%	100%
	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	15	81%	100%
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	16	100%	100%

GAL 网格定位模型效果图（左侧为识别混淆矩阵，右侧为与传统时差定位方法的定位精度对比）

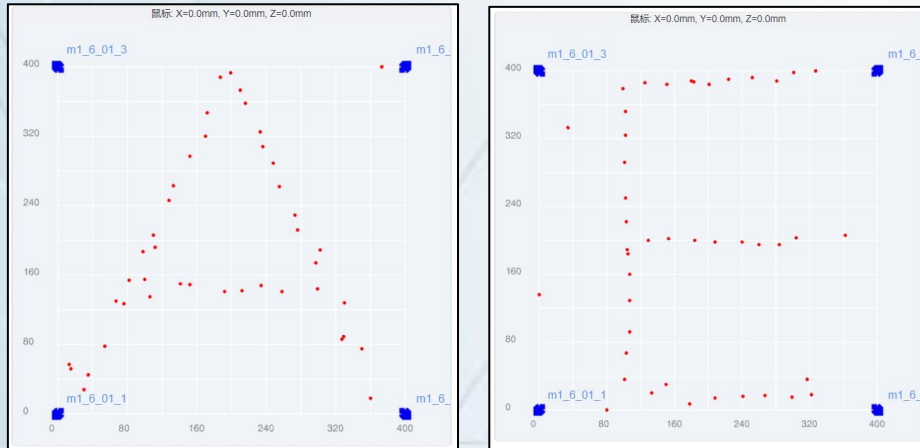
边缘推理：网关加载模型后，从采集器上传的参数中提取到达时间与特征参数，直接输出声发射源所在的网格编号，进一步得到实际的声源位置。定位结果经网关上传至云端。

产品:	设备编号:	时间类型:	时间范围:	展开	搜索	重置
QingCheng-Gateway	qc_ae_gateway_001	按时间段	2026-05-07 14:46:29 To 2026-08-05 14:46:29			
批量删除						
☐	设备编号	网格号	使用模型	采集时间	得分详情	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 13:45:52.636262	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 13:45:23.346825	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 13:45:15.815507	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 13:44:59.140531	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 11:19:35.988798	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 11:19:24.343012	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 10:56:24.698523	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 10:56:24.386242	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 10:44:35.209207	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 10:44:34.213142	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 10:44:34.088636	[[{"w":0,"s":1}]]	
☐	qc_ae_gateway_001	0	GAL	2026-08-05 10:43:39.730516	[[{"w":0,"s":1}]]	

❖ 5.2 TDOA 时差定位

原理：基于同一声发射事件到达各传感器的时差进行声源定位，支持线性、平面、立方体、罐底、柱面、柱体、球面 7 种几何结构，适配管道、平板、储罐底板、圆柱容器、球罐等不同监测对象；支持介质波速设置（钢约 5000 m/s、铝约 6300 m/s）、事件定义与闭锁时间、幅值容差、参与定位的传感器数量上下限等参数配置，并可设置守护传感器排除噪声通道干扰。

边缘推理：网关对同一事件内各通道撞击的到达时间进行时差解算，实时输出声源坐标；结果上报云端后，可在清诚物联网平台查看线定位、平面定位、柱面定位等可视化定位结果。



❖ 5.3 波形模式识别 WPR

原理：有监督人工神经网络（ANN）。以波形数据为输入，按用户定义的声源类别（开裂、异物碰撞、铅芯折断等）进行标注，训练多层神经网络，通过逐层加权求和与激活函数计算，学习“波形 → 类别”的映射，得到波形识别模型 WPR。

模型训练与评估：训练轮数（Epochs）、精度阈值、损失阈值可调；训练结束后分别输出训练集与验证集的准确率、损失值，量化模型识别精度。以 4 类声源、500 个波形数据的训练集为例，训练集准确率达 99.75%，验证集准确率达 93%。



边缘推理：网关加载模型后，对采集器上传的实时波形帧提取特征并做网络前向计算，输出声源类别及其概率，识别结果上传至云端。

列表视图

产品: RAEM1 设备编号: m1_8_01_1 模型: 波形数据模式识别(WPR) 时间类型: 按时间段 时间范围: 2026-05-07 14:57:09 To 2026-08-05 14:57:09 展开 搜索 重置

模式类型: 1新铅, 2摩擦, 3敲击, 4坠落

批量操作

设备编号	模型	模式识别	采样时间	得分详情
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 14:25:07.962137	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 14:25:07.961135	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 13:46:26.925008	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	新铅	2026-08-05 13:46:26.923993	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 13:45:52.836243	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 13:45:52.835728	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	新铅	2026-08-05 13:45:52.834805	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 13:45:52.825133	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 13:45:52.393338	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	新铅	2026-08-05 13:45:52.392371	0
m1_8_01_1	波形数据模式识别(WPR)	摩擦	2026-08-05 13:45:24.264241	0

❖ 5.4 参数模式识别 PPR

原理：有监督 ANN。以参数数据（到达时间、幅度、能量、RMS、ASL、振铃计数、持续时间、上升时间、上升计数、峰值频率、质心频率等）为输入，按用户定义类别标注，训练人工神经网络，得到参数识别模型 PPR；隐藏层将输入数据转换为更高层次的特征表示。

模型训练与评估：训练参数含 Epochs、Dropout（通常取 ≤ 0.2 ）、精度阈值、损失阈值；训练完成后以混淆矩阵量化各类别的识别准确率。以 4 类声源、1680 个测试数据为例，整体识别准确率达 96.31%（正确识别 1618 个）。

Testing

Choose Files 8 files Select testing data directory Test Model

Parsing test CSV files...

Testing with 1680 data points

Test accuracy: 96.31% **测试准确率96.31%**

Correctly classified: 1618 out of 1680 **正确识别1618个数据**

Total errors: 62 **错误识别62个数据**

Confusion Matrix:

Actual\Predicted	预测 04坠落	03敲击	02摩擦	01断铅
04坠落 实际	399	1	4	0
03敲击	52	348	0	0
02摩擦	0	0	475	1
01断铅	0	0	4	396

Error Predictions: **错误识别具体情况** .csv文件中第四行参数实际类别为04坠落，模型预测为03敲击

File: test/04坠落/33/0000_33C01_240730132421215.pra.csv (Row 4) - Actual: 04坠落, Predicted: 03敲击

边缘推理：网关加载模型后，对实时参数做前向计算，输出声源类别及其概率，并上传至云端。

图表视图 列表视图

产品: RAEM1 设备编号: m1_6_01_1 模型: 参数数据模式识别 时间类型: 按时间段 时间范围: 2026-05-07 14:57:09 To 2026-08-05 14:57:09 展开 搜索 重置

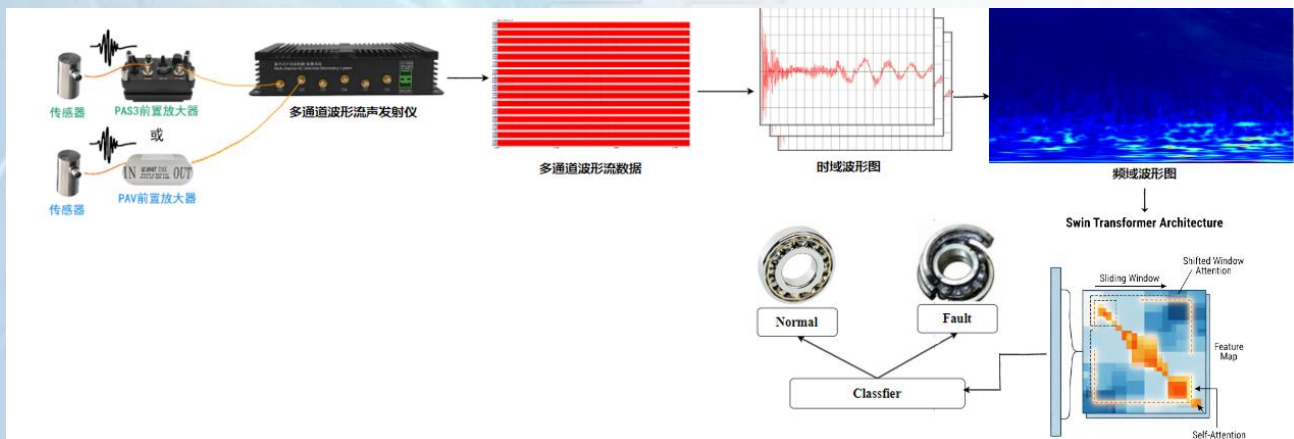
模式类型: 1断铅, 2摩擦, 3敲击, 4坠落

批量操作

☐	设备编号	模型	模式识别	采样时间	得分详情
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:25.153082	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:25.119893	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:25.086951	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	摩擦	2026-08-05 10:03:25.055145	[[{"p":2,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":3,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:25.023545	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:24.992024	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	摩擦	2026-08-05 10:03:24.960449	[[{"p":2,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":3,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:24.928100	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:24.895859	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:24.863790	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	参数数据模式识别	敲击	2026-08-05 10:03:24.831645	[[{"p":3,"s":1}, {"p":4,"s":0}, {"p":1,"s":0}]]

❖ 5.5 Swin-Transformer 波形识别

原理: 深度学习。原始波形先重采样至 16 kHz, 经连续小波变换 (CWT) 生成 64×64 时频图, 将一维时序信号转化为二维时频表示; 再输入 Swin-Transformer 网络, 通过分窗自注意力 (Shifted Window Attention) 机制提取时频图的局部与全局特征, 完成分类。



边缘推理: 由 6 TOPS NPU 硬件加速本地前向计算, 输出 Top-3 识别结果, 并将结果上传至云端。

产品: RAEM1 设备编号: m1_6_01_1 模型: 波形时频-Swin-Transformer 时间类型: 按时间段 时间范围: 2026-05-07 14:57:09 To 2026-08-05 14:57:09 展开 搜索 重置

模式类型: 1断铅, 2摩擦, 3敲击, 4坠落

批量操作

☐	设备编号	模型	模式识别	采样时间	得分详情
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:37.789650	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:37.746724	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:37.602216	[[{"p":3,"s":0.956}, {"p":1,"s":0.042}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:37.552037	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:37.364089	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:27.196962	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:27.153757	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:27.025920	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:26.968533	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:26.927239	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]
☐	m1_6_01_1	波形时频-Swin-Transformer	敲击	2026-05-08 15:26:26.813206	[[{"p":3,"s":0.788}, {"p":1,"s":0.21}, {"p":4,"s":0}]]

❖ 5.6 参数等级评定

原理：参照声发射参数评级方法（QC 等级评定），对声发射事件按严重程度分级，便于运维决策。实时强度等级基于单次撞击的特征参数（幅值、能量等）判定，分为 1~3 级；活度等级基于统计周期内的撞击计数判定，分为 1~4 级；综合等级由统计强度与活度综合评定。强度与活度均由规则引擎定义，每级支持多条规则，规则内多参数阈值相与、同级规则间相或，阈值可按通道单独设置或统一下发。

边缘推理：网关按统计周期在本地完成等级计算，支持实时强度、统计强度、统计活度、综合等级等用户设置上报模式，结果上报清诚物联网平台或用户私有服务器。



六. 典型应用

依托网关内置的边缘 AI 推理能力，GW-EA 可在数据产生的现场直接完成声源定位与模式识别。声发射技术在桥梁、机加工、风电、石油化工等领域已有成熟的在线监测应用实践，GW-EA 将边缘 AI 能力延伸至上述场景，典型应用方向如下。

6.1 桥梁缆索断丝监测

方案组成：在缆索、吊索等监测部位布置声发射传感器与 RAEM 系列采集器，网关本地运行波形识别模型及参数评级，对断丝等异常事件识别，并经以太网/4G 上报至用户私有服务器。**应用价值：**准确识别缆索真实断丝事件，排除噪声干扰，按等级告警，保障桥梁结构运营安全。

6.2 机加工刀具磨损监测

方案组成：采集器实时采集切削过程中的声发射信号传输至边缘计算网关，网关通过 WPR/PPR 模型区分刀具正常磨损、剧烈磨损与崩刃等状态，异常时输出告警。**应用价值：**刀具状态实时可知，避免过度磨损造成批量不良与停机损失，支撑换刀策略优化与无人化产线运行。

6.3 风电轴承/叶片监测

方案组成：在叶片根部、主轴承及变桨/偏航轴承等关键部位布置声发射传感器，采集器经以太网/WiFi 接入网关；叶片侧识别基体开裂、层间分层、脱粘、纤维断裂等损伤特征信号，转动部件侧识别轴承磨损、点蚀及润滑异常等特征信号，Swin-Transformer 模型在风机运行噪声环境下完成损伤识别，结果经以太网/4G 上报至清诚物联网平台。应用价值：无需停机即可捕捉肉眼不可见的内部损伤萌生与扩展过程，实现叶片裂纹、分层与轴承故障的早期预警，为制定维修计划提供依据，降低叶片断裂、倒塔等重大事故风险。

6.4 储罐及管道阀门泄漏监测

方案组成：在储罐罐底、管壁及阀门等关键部位布置声发射传感器与 RAEM 系列采集器，网关本地运行模式识别模型，实时识别泄漏产生的声发射信号并抑制环境噪声干扰，对泄漏事件分级告警，并经以太网/4G 上报至清诚物联网平台。应用价值：无需停输即可对石油、化工、燃气等管道及储罐、阀门实现在线监测，泄漏早发现、早定位，降低介质泄漏引发的安全与环境风险，减少人工巡检强度。

6.5 转动设备状态监测

方案组成：在轴承座、齿轮箱等部位布置声发射传感器与 RAEM 系列采集器，网关通过 WPR/PPR/Swin-Transformer 模型识别轴承早期损伤、齿轮异常、摩擦磨损、松动碰撞等特征信号，异常时输出分级告警。应用价值：声发射对早期微小异常敏感，可在故障萌芽阶段及时发现问题，支撑转动设备由定期维护向预测性维护转变，避免突发停机与连锁损坏。